

**PENGARUH PENAMBAHAN CAT PADA AGREGAT  
KASAR BATU PUMICE TERHADAP KEKAKUAN BALOK  
BETON BERTULANG DUA TUMPUAN**

**NASKAH PUBLIKASI  
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh  
gelar Sarjana Teknik



**ARI TRI KURNIAWAN  
NIM. 115060100111032**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2016**

# **PENGARUH PENAMBAHAN CAT PADA AGREGAT KASAR BATU PUMICE TERHADAP KEKAKUAN BALOK BETON BERTULANG DUA TUMPUAN**

Ari Tri Kurniawan, Sri Murni Dewi, Ming Narto Wijaya

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167 Malang 65145, Jawa Timur – Indonesia

Email: [arikurniawan.atk@gmail.com](mailto:arikurniawan.atk@gmail.com)

## **ABSTRAK**

Beton adalah suatu bahan bangunan dan konstruksi yang sifat-sifatnya dapat ditentukan lebih dahulu dengan mengadakan perencanaan dan pengawasan yang teliti terhadap bahan yang dipilih. Sifat-sifat fisik dan mekanik agregat mempunyai pengaruh yang besar terhadap perilaku dari beton yang sudah mengeras mengingat prosentase dari agregat yang cukup besar. Sehingga dilakukan penelitian untuk memperoleh beton yang mempunyai berat sendiri yang ringan terhadap kuat menahan tekan serta mempunyai kekakuan yang aman. Salah satunya yaitu penggunaan batu apung (*pumice*) untuk menggantikan batu pecah diharapkan bisa digunakan sebagai agregat ringan dalam campuran beton, hal ini dimungkinkan karena hampir 20% strukturnya adalah rongga sehingga lebih ringan dari batu pecah. Termasuk penggunaan cat sebagai bahan pelapis permukaan batu apung (*pumice*) untuk mengurangi penyerapan air pada agregat tersebut.

Pada penelitian ini objek yang diamati yaitu: 1.) balok beton bertulang agregat kasar normal, 2.) balok beton bertulang agregat kasar batu *pumice* tanpa pelapisan cat, 3.) balok beton bertulang agregat kasar batu *pumice* dengan pelapisan cat. Masing - masing balok uji menggunakan 3 benda uji. Dimensi balok 120x15x10 cm. Pembeban statik vertikal dilakukan pada seperempat dan tigaperempat bentang setelah balok beton berumur 28 hari.

Hasil penelitian didapatkan bahwa balok beton bertulang menggunakan agregat kasar normal dapat menahan beban 1620,677 kg, balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* tanpa pelapisan cat dapat menahan beban 1487,343 kg, balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* dengan pelapisan cat dapat menahan beban 1525,677 kg. Lendutan pada balok beton bertulang menggunakan agregat kasar normal sebesar 17,315 mm, lendutan pada balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* tanpa pelapisan cat sebesar 16,76 mm, lendutan pada balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* dengan pelapisan cat sebesar 23,123 mm. Balok beton bertulang menggunakan agregat kasar normal memiliki nilai berat volume sebesar 2519,444 kg/mm<sup>3</sup>, balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* tanpa pelapisan cat memiliki berat volume sebesar 2134 kg/mm<sup>3</sup>, balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* dengan pelapisan cat memiliki berat volume sebesar 2080,556 kg/mm<sup>3</sup>. Balok beton bertulang menggunakan agregat kasar normal memiliki nilai kekakuan sebesar 213,9202 kg/mm, balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* tanpa pelapisan cat memiliki nilai kekakuan sebesar 187,287 kg/mm, balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* dengan pelapisan cat memiliki nilai kekakuan sebesar 179,406 kg/mm<sup>3</sup>. Dari hasil kekakuan yang diperoleh nilai perbandingan selisih antara kekakuan balok beton bertulang menggunakan agregat kasar normal dengan balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* tanpa pelapisan cat sebesar 14,22%, nilai perbandingan selisih antara kekakuan balok beton bertulang menggunakan agregat kasar normal dengan balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* dengan pelapisan cat sebesar 19,238%,

nilai perbandingan selisih antara kekakuan balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* tanpa pelapisan cat dengan balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* dengan pelapisan cat sebesar 4,393%.

Kata kunci: balok beton, agregat kasar batu pumice berlapis cat, kekakuan, berat volume

## ABSTRACT

Concrete is one of building material and construction which has first determined by its characteristic and by carefully planning and observing. The physical and mechanical characters of aggregate are having huge influence in concrete block, remembering the aggregate percentage is adequate big. Thus, the research being done enhance hard lighter concrete againsts reinforced rigidity. The use of pumice instead of the broken rocks exchange as the lighter aggregate in concrete mixture. This is possible, because almost 20% structure hard lighter hollow than broken rocks. Including the panted pumice to reduce water adsorption.

This research objectives are: 1.) the normal coarse aggregate of concrete beam, 2.) uncoated pumice of coarse aggregate of concrete beam, 3.) coated pumice of coarse aggregate of concrete beam. The block dimension is 120 x 15 x 10 cm. The vertical static reinforced doing in four and three quarter range after 28 days block ages.

The result showed that concrete beam used normal coarse aggregate might stand againsts 1620,677 kg, the concrete beam used coarse uncoated pumice stand againsts 1487,343 kg, and coated pumice of coarse beam againsts 1525,677 kg. The deflection of concrete beam using normal coarse aggregate by means of 17,315 mm, while using uncoated had score of 16,76 mm, and using coarse aggregate coated pumice is 23,123 mm. The concrete beam used normal coarse aggregate is having volume of 2519,444 kg/mm<sup>3</sup>, used coarse aggregate of uncoated is 2134 kg/mm<sup>3</sup> volume and with coated pumice is 2080,556 kg/mm<sup>3</sup>. The concrete beam with normal coarse aggregate had stiffness value of 213,9202 kg/mm<sup>3</sup>, with uncoated pumice had stiffness of 187,287 kg/mm<sup>3</sup>, and concrete beam with coated pumice had value 179,406 kg/mm<sup>3</sup>. Based on the stiffness value of concrete block using normal coarse aggregate againsts uncoated had differences of 14,22 %, the difference value of normal coarse aggregate againsts coated pumice is 19,238 %, the difference stiffness value of uncoated againsts coated pumice coarse aggregate is 4,393 %.

Key Word : concrete beam, coarse aggregate of coating pumice, stiffness, heavy volume

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan jaman, pembangunan disegala bidang senantiasa digalakkan untuk memenuhi segala kebutuhan manusia, termasuk pembangunan infrastruktur berupa bangunan dengan segala macam pemanfaatannya. Komponen utama pembentuk bangunan banyak digunakan oleh manusia adalah beton.

Walaupun beton menahan tekan namun beton mempunyai berat sendiri yang besar karena prosentase agregat kasar yang dominan pada campuran beton. Sehingga dilakukan penelitian untuk memperoleh beton yang mempunyai berat sendiri yang ringan terhadap kuat menahan tekan serta mempunyai kekakuan yang aman. Salah satunya yaitu dengan menggunakan agregat ringan dan menambahkan bahan campuran pada beton.

Berangkat dari permasalahan tersebut, hadirilah konsep beton ringan yang menggunakan alternative agregat yang lebih ringan dari beton normal. Penggunaan batu apung (*pumice*) untuk menggantikan batu pecah diharapkan bisa digunakan sebagai agregat ringan dalam campuran beton, hal ini dimungkinkan karena hampir 20% strukturnya adalah rongga sehingga lebih ringan dari batu pecah. Beton ringan sendiri memiliki berat isi sekitar  $1900 \text{ kg/m}^3$  (SNI 03-2847-2002). Namun penggunaan batu apung (*pumice*) sebagai agregat kasar dalam campuran beton perlu diteliti agar dapat diketahui kekuatan yang dihasilkan. Termasuk penggunaan cat sebagai bahan pelapis permukaan batu apung (*pumice*) untuk mengurangi penyerapan air pada agregat tersebut.

### Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti sebagai berikut:

1. Bagaimanakah pengaruh penambahan cat water proof pada beton beragregat kasar batu pumice
2. Berapakah beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok beton bertulang beragregat kasar batu pumice
3. Berapakah lendutan maksimum yang dapat ditahan oleh balok beton bertulang beragregat kasar batu pumice
4. Berapakah kekakuan yang dihasilkan oleh balok beton bertulang beragregat kasar batu pumice
5. Berapakah perbedaan yang antara perhitungan teoritis dengan hasil eksperimen

### Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besar beban maksimum yang mampu ditahan oleh balok beton bertulang beragregat kasar batu pumice. Mengetahui lendutan maksimum yang mampu ditahan oleh balok beton bertulang beragregat kasar batu pumice. Mengetahui pengaruh pumice yang dicat terhadap berat balok. Mengetahui pengaruh pumice yang dicat terhadap kekakuan terhadap balok, mengetahui perbedaan antara perhitungan teoritis dan perbedaan yang terjadi pada eksperimen.

### Batasan Masalah

Agar penelitian dapat terfokus pada tujuan yang ingin dicapai, maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

- a. Penelitian hanya dilakukan dilaboratorium
- b. Semen yang digunakan adalah semen Gresik Tipe 1 dan tidak dilakukan pengujian khusus
- c. Cat yang digunakan adalah cat polimer (cat water proof) yang digunakan di pasaran serta tidak dilakukan pengujian khusus

- d. Agregat kasar yang digunakan adalah batu apung (pumice) dari Kabupaten Kediri
- e. Agregat halus yang digunakan adalah pasir alami yang didapat dipasaran
- f. Air yang digunakan tidak dilakukan pengujian khusus dan berasal dari air bersih PDAM Kota Malang yang tersedia dilaboratorium.
- g. Tulangan tarik menggunakan baja polos dengan diameter 8 mm
- h. Tulangan geser untuk sengkang menggunakan baja polos dengan diameter 6mm
- i. Jumlah benda uji untuk tiap variasi campuran masing masing 3 buah
- j. Penambahan cat polimer dilakukan terhadap 3 benda uji
- k. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk balok dengan ukuran 100mm x 150mm x 1200mm
- l. Balok diberi beban terpusat yang simetris dengan penambahan secara bertahap menggunakan pompa hidrolik dan Load Cell
- m. Pengukuran lendutan menggunakan LVDT
- n. Pelaksanaan pencampuran beton menggunakan molen

## **TINJAUAN PUSTAKA**

### **Tinjauan Umum**

Beton didapat dari pencampuran bahan bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. Agregat halus dan kasar, disebut sebagai bahan penyusun kasar campuran, merupakan komponen utama beton. Nilai kekuatan serta daya tahan (durability) beton merupakan fungsi dari banyak faktor, diantaranya ialah nilai: banding campuran dan mutu bahan susun, metode

pelaksanaan pengecoran, pelaksanaan finishing, temperature, dan kondisi perawatan pengerasannya. ( Istimawan Dipohusodo, 1993).

Dalam penelitian ini digunakan batu apung (Pumice) sebagai agregat kasar. Sedangkan untuk agregat halus menggunakan pasir alami. Oleh karena menggunakan pasir alami sebagai agregat halus maka disebut beton ringan berpasir (SNI 03-2847-2002).

Batu pumice adalah jenis batuan yang berwarna terang. Mengandung buih yang terbuat dari gelembung ber dinding gelas, dan biasanya disebut sebagai batuan gelas vulkanik silikat. Batuan ini terbentuk dari magma asam oleh aksi letusan gunung api yang mengeluarkan materialnya ke udara, kemudian mengalami transportasi secara horizontal dan terakumulasi sebagai batuan piroklastik (Bideci, Alper ., Haydar Gultekin, Ali., Yildirim, Hasan., Oymael, Sabit., Salli Bideci, Ozlem, 2014).

Berdasarkan beratnya (unit Weight) beton dibedakan menjadi beberapa yaitu:

1. Beton normal, yaitu beton yang mempunyai berat satuan 2200 kg/m<sup>3</sup> sampai 2500 kg/m<sup>3</sup> dan dibuat menggunakan agregat aam yang dipecah atau tanpa dipecah(SNI 03-2847-2002).
2. Beton ringan, yaitu beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai berat satuan tidak lebih dari 1900 kg/m<sup>3</sup> (SNI 03-2847-2002).
3. Beton berat, yaitu beton dengan agregat batu berat yang mempunyai berat volume beton antara 2800 kg/m<sup>3</sup> - 3800 kg/m<sup>3</sup> (SK\_SNI 1991 : 2)

### **Pelapisan Agregat**

Penelitian tentang pelapisan agregat menggunakan bahan polimer juga telah dilakukan dengan tujuan mengurangi penyerapan air pada *pumice* sebagai agregat kasar. Dalam penelitian yang

dilakukan Ozlem Salli Bideci, Alper Bideci, Ali Haydar G., Sabit Oymael, Hasan Yildirim pada tahun 2013, agregat pumice dilapisi oleh cat jenis polimer. Dengan menggunakan beberapa jenis cat polimer sebagai variabel bebas. Hasilnya *pumice* dengan pelapisan menggunakan polimer peyerapan airnya lebih kecil (2-10)% dibandingkan *pumice* yang tidak dilapisi bahan polimer (30-40)% seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Tes Batu Pumice

Mixtures	Specific weight (g/cm <sup>3</sup> )			Loose bulk density (g/cm <sup>3</sup> )			Water absorption rates (%)		
	0-4	4-8	8-16	0-4	4-8	8-16	0-4	4-8	8-16
Control	1,57	1,03	0,98	225	272	221	48,2	43,1	34
SNMC	1,57	1,25	1,2	225	282	230	48,2	10,2	9,6
KBP	1,57	1,37	1,28	225	315	290	48,2	2,1	2,8
PLP	1,57	1,51	1,45	225	330	245	48,2	8,5	8,1

Sumber: *Polymer Coated Pumice Aggregates And Their Properties*, 2013

## Kekakuan

Menurut Kenneth-Belanger (1981), kekakuan balok beton merupakan fungsi dari modulus elastis (E) dan momen inersia (I). Inersia saat balok belum retak dipergunakan  $I_g$ , setelah mengalami retak dipergunakan  $I_{cr}$ , sedang nilai momen inersia efektif aktual disebut  $I_e$  yang nilainya diantara  $I_g$  dan  $I_{cr}$ . Pengertian tersebut dapat dilihat dari perilaku beban-lendutan statis. (Muhammad Ujianto, 2006). Kekakuan merupakan hasil bagi beban dan lendutan.

$$K = \frac{P}{\delta} \dots\dots\dots(1)$$

dengan:

K = Kekakuan

P = Beban

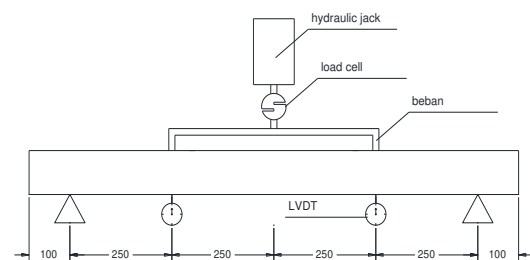
$\delta$  = Lendutan

## METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Pengukuran yang dilakukan pada benda uji berupa pengukuran defleksi balok dan pengukuran

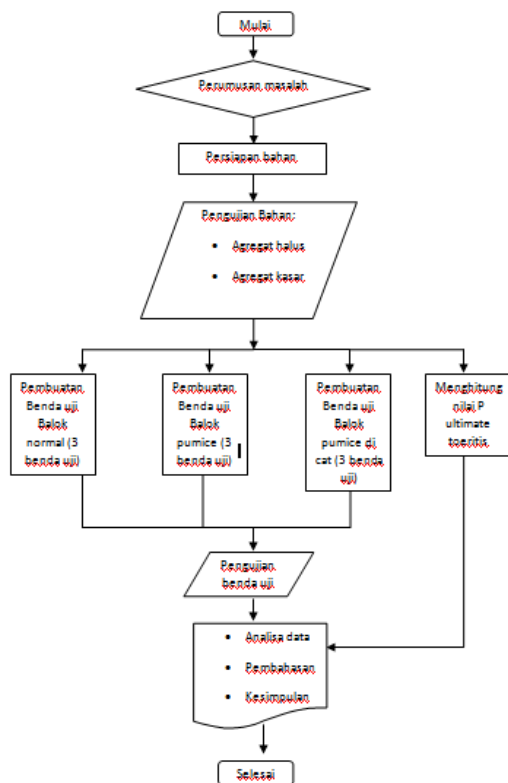
regangan tulangan. Untuk mengukur defleksi dipasang 2 buah LVDT pada seperempat bentang. Pembebanan dilakukan dengan menggunakan alat hydraulic jack. Metode yang digunakan adalah load controlled, yakni dengan cara benda uji balok beton diberi beban maksimum-minimum tertentu serta jumlah siklus tertentu. Pembebanan yang diberikan pada benda uji berupa beban yang sudah ditentukan dan dinaikkan secara bertahap beban tersebut sampai benda uji balok diberikan beban statik sampai runtuh dilakukan dua tahap, tahap pertama adalah load controlled dilakukan sampai terjadi first crack yang ditandai dengan tidak liniernya (terjadi kemiringan) kurva beban-lendutan. Tahap kedua dilakukan displacement controlled setelah terjadi kemiringan pada kurva beban-lendutan dengan kelipatan 1 mm sampai balok runtuh.

Pengujian balok ini akan dilakukan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Skema Pembebanan

Data tersebut kemudian digunakan untuk mencari nilai kekakuan sesuai dengan Persamaan (1).



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Penyerapan Agregat Kasar

Pada penelitian ini diperlukan pengujian terhadap penyerapan agregat kasar, karena perbedaan agregat yang digunakan pada benda uji. Hasil penyerapan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Penyerapan Agregat Kasar

Keterangan	<i>Pumice</i>	<i>Pumice</i> cat	Kerikil
Penyerapan air	14,0%	10,1%	3,2%

Berdasarkan Tabel 2 hasil penyerapan kerikil paling rendah yaitu 3,2 %. Disamping itu penyerapan *pumice* tanpa cat lebih besar dibandingkan *pumice* yang dicat. Hal itu membuktikan bahwa adanya pengaruh cat yang melapisi permukaan agregat *pumice* yang mengakibatkan penyerapan air terhadap agregat *pumice* berkurang.

Nilai perbandingan penyerapan agregat kasar diambil terhadap kerikil. Sehingga nilai perbandingan untuk *pumice* terhadap kerikil yaitu 4,375 :1. Sedangkan untuk *pumice* cat terhadap kerikil yaitu 3,15625 : 1. Hasil tersebut menunjukkan *pumice* yang dilapisi dengan cat berpengaruh terhadap penyerapan air.

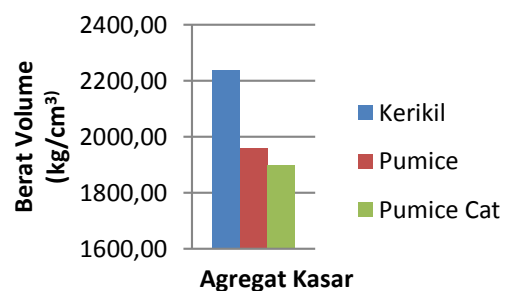
### Beton Keras

Pada beton keras dilakukan pengujian kuat tekan beton rata-rata pada umur 28 hari dengan benda uji silinder diameter 8 cm tinggi 16 cm. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil pada tabel 3

Benda Uji	Diameter (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat (kg)	Berat Isi (kg/m <sup>3</sup> )	P <sub>max</sub> (kn)	fc' (n/mm <sup>2</sup> )	fc' rata-rata (n/mm <sup>2</sup> )
Kerikil	8	803,84	1,75	2177,050	89	17,715	13,834
	8	803,84	1,85	2301,453	50	9,952	
Pumice	8	803,84	1,65	2052,647	82	16,322	14,530
	8	803,84	1,5	1866,043	64	12,739	
Pumice Cat	8	803,84	1,6	1990,446	59	11,744	14,132
	8	803,84	1,45	1803,842	83	16,521	

Tabel 3 Hasil Kuat Tekan Beton Keras

Berdasarkan tabel 3, maka kuat tekan rata-rata beton dengan agregat kerikil 13,834 MPa, beton dengan agregat *pumice* 14,53 MPa, dan beton dengan agregat *pumice* cat 14,132 MPa. Pada data ini kuat tekan rata-rata kerikil yang merupakan beton normal paling kecil dibandingkan kuat tekan rata-rata *pumice* dan *pumice* cat. Hal ini dikarenakan pada saat proses *curing* benda uji silinder kerikil tertindih oleh silinder berdiamter 15 cm dan tinggi 30 cm lain yang berada diatasnya, sehingga berpengaruh terhadap kuat tekan salah satu benda uji silinder kerikil.



Gambar 3 Hasil Berat Volume Beton Keras



Pada Gambar 4 hasil rata-rata berat volume silinder beton kerikil adalah 2238,14 kg/cm<sup>3</sup>, *pumice* 1958,37 kg/cm<sup>3</sup>, dan *pumice* cat 1896,2 kg/cm<sup>3</sup>. Berdasarkan SNI, nilai berat volume kerikil masuk ke dalam beton normal, namun *pumice* yang merupakan beton ringan tidak masuk ke dalam beton ringan. Sedangkan *pumice* cat masih termasuk ke dalam beton ringan karena berat volumenya lebih kecil dari 1900 kg/cm<sup>3</sup>.

### Pengukuran Balok Beton Bertulang dan Berat Volume Balok Beton Bertulang

Dalam melakukan pengujian berat volume balok beton ini diperlukan beberapa data yang akan diukur. Data-data tersebut meliputi berat, panjang, lebar, dan tinggi balok. Proses pengambilan data tersebut dilakukan setelah balok beton tersebut berumur 28 hari yakni pada saat balok beton tersebut telah siap untuk diuji beban vertikal. Pengukuran berat balok beton menggunakan timbangan, sedangkan pengukuran dimensi balok menggunakan mistar.

Analisa berat volume balok beton dapat dilakukan setelah didapatkan data berat dan dimensi dari balok beton tersebut. Analisa berat volume ini meliputi tiga macam yaitu analisa berat volume untuk balok beton normal dan berat volume balok beton batu pumice dan balok beton batu pumice cat. Perhitungan berat volume dari balok tersebut dipresentasikan dalam tabel berikut ini:

No.	Nama Benda Uji	Berat (kg)	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )
1	BBN-1	44,05	1,2	0,1	0,15	0,018	2447,2222
2	BBN-2	46,4	1,2	0,1	0,15	0,018	2577,7778
3	BBN-3	45,6	1,2	0,1	0,15	0,018	2533,3333
Berat Volume Rata-Rata							2519,4444

Tabel 4. Hasil Pengukuran Balok dan Berat Volume Beton Normal

No.	Nama Benda Uji	Berat (kg)	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )
1	BBP-1	39,05	1,2	0,1	0,15	0,018	2169,4444
2	BBP-2	38,35	1,2	0,1	0,15	0,018	2130,5556
3	BBP-3	37,85	1,2	0,1	0,15	0,018	2102,7778
Berat Volume Rata-Rata							2134

Tabel 5. Hasil Pengukuran Balok dan Berat Volume Beton Pumice

No.	Nama Benda Uji	Berat (kg)	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )
1	BBPC-1	37,8	1,2	0,1	0,15	0,018	2100
2	BBPC-2	37,75	1,2	0,1	0,15	0,018	2097,2222
3	BBPC-3	36,8	1,2	0,1	0,15	0,018	2080,5556
Berat Volume Rata-Rata							2080,556

Tabel 6. Hasil Pengukuran Balok dan Berat Volume Beton Pumice Cat

Keterangan:

- BBN-1 = Benda uji balok beton normal ke-1
- BBN-2 = Benda uji balok beton normal ke-2
- BBN-3 = Benda uji balok beton normal ke-3
- BBP-1 = Benda uji balok beton batu pumice ke-1
- BBP-2 = Benda uji balok beton batu pumice ke-2
- BBP-3 = Benda uji balok beton batu pumice ke-3
- BBPC-1 = Benda uji balok beton batu pumice cat ke-1
- BBPC-2 = Benda uji balok beton batu pumice cat ke-2
- BBPC-3 = Benda uji balok beton batu pumice cat ke-3

Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui rata-rata nilai berat volume pada balok beton bertulang normal sebesar 2519,4444 kg/m<sup>3</sup>, sedangkan rata-rata nilai berat volume pada balok beton bertulang batu pumice sebesar 2134 kg/m<sup>3</sup> dan rata-rata nilai berat volume pada balok beton bertulang batu pumice cat sebesar 2080,556 kg/m<sup>3</sup>. Hal ini membuktikan bahwa berat volume balok beton bertulang batu pumice cat itu lebih kecil daripada berat volume pada balok beton bertulang batu pumice dan balok beton bertulang normal.

### Kekakuan Teoritis

Untuk perhitungan kekakuan teoritis, rumus yang digunakan yaitu beban dibagi lendutan. Sedangkan untuk menghitung modulus elastisitas beton (E), karena berat

volume ( $w_c$ ) benda uji pumice dan pumice cat berkisar diantara 1500-2500 kg/m<sup>3</sup> dan berat volume beton ( $w_c$ ) diatas 2400 kg/m<sup>3</sup> maka sesuai SNI 03-2847-2002 menggunakan persamaan (2) dan persamaan (3).

- Untuk beton dengan agregat batu pumice dan pumice cat

$$E = w_c^{1,5} 0,043 \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots(2)$$

dengan:

$E$  = Modulus elastisitas beton (MPa)

$w_c$  = Berat volume beton (kg/m<sup>3</sup>)

$f'_c$  = Kuat tekan beton (MPa)

- Untuk beton dengan agregat normal

$$E = 4700 \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots(3)$$

dengan:

$E$  = Modulus elastisitas beton (MPa)

$f'_c$  = Kuat tekan beton (MPa)

Sehingga dilakukan perhitungan nilai modulus elastisitas pada benda uji berdasarkan jenis agregat yang digunakan.

Untuk benda uji beragregat kerikil:

Diketahui,

$$f'_c = 13,83 \text{ MPa}$$

$$w_c = 2519,4444 \text{ kg/m}^3$$

$$E_K = 4700 \sqrt{13,83} \\ = 17481,22 \text{ MPa}$$

Kemudian benda uji diasumsikan satu jenis bahan sehingga terjadi perubahan dimensi sehingga

$$n = \frac{E_{\text{baja}}}{E_{\text{beton normal}}} \\ n = \frac{200000}{17481,22} = 11,44085 \\ A = b \cdot h + (n - 1) \cdot A_s + (n - 1) \cdot A_s' \\ A = 100 \cdot 150 + (11,44085 - 1) \cdot 101 + (11,44085 - 1) \cdot 101$$

$$A = 17109,0517 \text{ mm}^2$$

Dimensi penampang baru dengan asumsi tinggi tetap 150 mm akan menjadi

$$A = b \cdot h$$

$$17109,0517 = b \cdot 150$$

$$b = 114,06 \text{ mm}$$

Sehingga momen inersia penampang balok beton normal

$$I = \frac{1}{12} b \cdot h^3$$

$$I_1 = \frac{1}{12} 114,06 \cdot 150^3$$

$$I_1 = 32079472 \text{ mm}^4$$

Kemudian kekakuan dapat dihitung dengan memasukkan nilai modulus elastisitas dan momen inersia penampang ke dalam rumus defleksi dengan kondisi tumpuan sendi-rol dan beban terpusat di seperempat bentang bentang. Nilai kekakuan balok beton normal adalah:

$$\Delta = \frac{8 \cdot P \cdot l^3}{768 \cdot E I_1} \\ k_1 = \frac{P}{\Delta} \\ k_1 = \frac{768 \cdot E I_1}{8 \cdot l^3} \\ k_1 = \frac{768 \cdot 17481,22 \cdot 32079472}{8 \cdot 1000^3} \\ k_1 = 53835,667 \text{ N/mm} \\ k_1 = 5383,5677 \text{ kg/mm}$$

Untuk benda uji beragregat pumice:

Diketahui,

$$f'_c = 14,53 \text{ MPa}$$

$$w_c = 2134 \text{ kg/m}^3$$

$$E = 2134^{1,5} 0,043 \sqrt{14,53} \\ = 16158,2 \text{ MPa}$$

Kemudian benda uji diasumsikan satu jenis bahan sehingga terjadi perubahan dimensi sehingga

$$n = \frac{E_{\text{baja}}}{E_{\text{beton pumice}}} \\ n = \frac{200000}{16158,2} = 12,377619$$

$$A = b \cdot h + (n - 1) \cdot A_s + (n - 1) \cdot A_s'$$

$$A = 100.150 + (12,377619 - 1) \cdot 101$$

$$+ (12,377619 - 1) \cdot 101$$

$$A = 17298,28 \text{ mm}^2$$

Dimensi penampang baru dengan asumsi tinggi tetap 150 mm akan menjadi

$$A = b \cdot h$$

$$17298,28 = b \cdot 150$$

$$b = 115,3219 \text{ mm}$$

Sehingga momen inersia penampang balok beton normal

$$I = \frac{1}{12} b \cdot h^3$$

$$I_2 = \frac{1}{12} 115,3219 \cdot 150^3$$

$$I_2 = 32434273 \text{ mm}^4$$

Kemudian kekakuan dapat dihitung dengan memasukkan nilai modulus elastisitas dan momen inersia penampang ke dalam rumus defleksi dengan kondisi tumpuan sendi-rol dan beban terpusat di seperempat bentang bentang. Nilai kekakuan balok beton pumice adalah:

$$\Delta = \frac{8 \cdot P \cdot l^3}{768 \cdot EI_2}$$

$$k_2 = \frac{P}{\Delta}$$

$$k_2 = \frac{768 \cdot EI_2}{8 \cdot l^3}$$

$$k_2 = \frac{768 \cdot 16158,2 \cdot 32434273}{8 \cdot 1000^3}$$

$$k_2 = 50311,619 \text{ N/mm}$$

$$k_1 = 5031,1619 \text{ kg/mm}$$

Dengan cara yang sama dengan perhitungan yang dilakukan pada kekakuan pumice diperoleh kekakuan teoritis pumice cat ( $k_3$ ) sebesar 4813,3557 kg/mm. Kemudian dihitung perbandingan selisih antara kekakuan balok beton normal dengan kekakuan balok beton pumice, dan dihitung perbandingan selisih antara balok beton normal dengan kekakuan balok beton pumice cat, serta dihitung perbandingan selisih kekakuan balok beton pumice dengan nilai kekakuan

balok beton pumice cat menggunakan rumus:

$$\rho_{k1} = \frac{k_1 - k_2}{k_2} \times 100\%$$

$$\rho_{k1} = \frac{5383,5677 - 5031,1619}{5031,1619} \times 100\%$$

$$\rho_{k1} = 7,0044 \%$$

$$\rho_{k2} = \frac{k_1 - k_3}{k_3} \times 100\%$$

$$\rho_{k2} = \frac{5383,5677 - 4813,3557}{4813,3557} \times 100\%$$

$$\rho_{k2} = 11,84646 \%$$

$$\rho_{k3} = \frac{k_2 - k_3}{k_3} \times 100\%$$

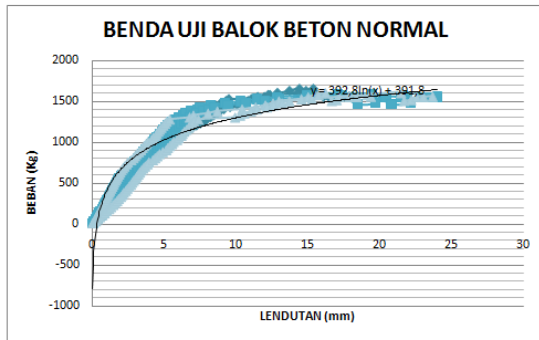
$$\rho_{k3} = \frac{5031,1619 - 4813,3557}{4813,3557} \times 100\%$$

$$\rho_{k3} = 4,525037 \%$$

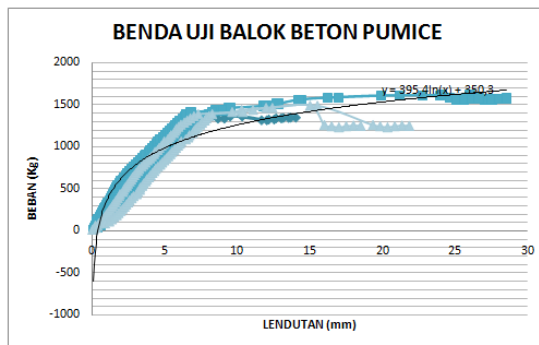
Sehingga didapat nilai perbandingan selisih antara kekakuan balok beton normal dengan kekakuan balok beton pumice sebesar 7,0044%, dan nilai perbandingan selisih antara kekakuan balok beton normal dengan kekakuan balok beton pumice cat sebesar 11,84646 %, serta nilai perbandingan selisih antara kekakuan balok beton pumice dengan kekakuan balok beton pumice cat sebesar 4,525037%.

### Kekakuan Eksperimen

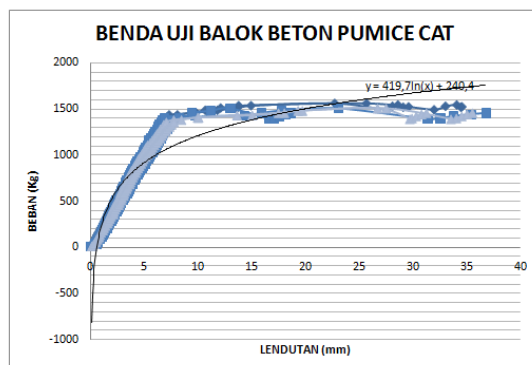
Kekakuan merupakan perbandingan antara beban dengan lendutan pada saat balok beton dalam keadaan elastis penuh atau dapat diidentifikasi sebagai kemiringan garis grafik hubungan beban dan lendutan pada tahap praretak. Dari hasil perhitungan kekakuan plat beton berdasarkan hasil penelitian dipresentasikan dalam bentuk grafik berikut:



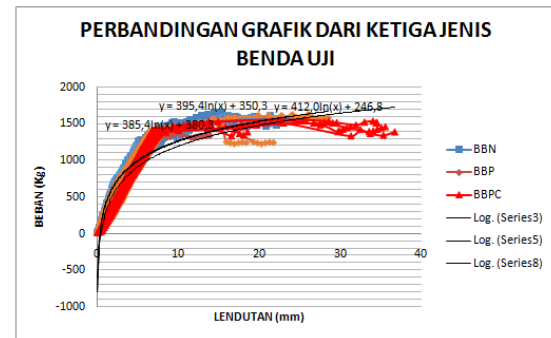
Gambar 4 Grafik Regresi Hubungan Beban dan Lendutan Untuk Benda Uji Balok Beton Normal



Gambar 5 Grafik Regresi Hubungan Beban dan Lendutan Untuk Benda Uji Balok Beton Pumice



Gambar 6 Regresi Hubungan Beban dan Lendutan Untuk Benda Uji Balok Beton Pumice Cat



Gambar 7 Grafik Perbandingan Regresi Hubungan Beban dan Lendutan dari Ketiga Jenis Benda Uji

Kemiringan awal grafik regresi untuk benda uji balok normal sedikit lebih besar daripada kemiringan awal grafik regresi untuk benda uji balok beton pumice dan balok beton pumice cat, dan kemiringan awal grafik regresi untuk benda uji balok pumice sedikit lebih besar daripada kemiringan awal grafik regresi untuk benda uji balok beton normal dan lebih kecil dari pada kemiringan awal regresi untuk balok beton pumice cat, serta kemiringan awal grafik regresi untuk benda uji balok pumice cat sedikit lebih besar daripada kemiringan awal grafik regresi untuk benda uji balok beton pumice dan balok beton normal. Sehingga berdasarkan grafik tersebut dapat dinyatakan kekakuan balok beton normal sedikit lebih besar daripada balok beton pumice dan balok beton pumice cat.

### Pembahasan Kekakuan

Tabel 7 Perbandingan antara Kekakuan teoritis dengan Hasil Eksperimen

Nama Benda Uji	P Maks. Aktual (kg)	Kekakuan (kg/mm)	Rata-Rata Kekakuan	
			Aktual (kg/mm)	Teoritis (kg/mm)
BBN-1	1534,01	201,79	213,9202	5383,56774
BBN-2	1559,01	225,942		
BBN-3	1384,01	214,024		
BBP-1	1309,01	196,763	187,287	5031,161853
BBP-2	1409,01	191,923		
BBP-3	1384,01	173,174		
BBPC-1	1434,01	185,181	179,406	4813,355714
BBPC-2	1409,01	174,787		
BBPC-3	1384,01	178,249		

Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui rata-rata kekakuan balok beton normal adalah sebesar 213,9202 kg/mm, sedangkan rata-rata kekakuan balok beton

pumice adalah sebesar 187,287 kg/mm, dan rata-rata kekakuan balok beton pumice cat sebesar 179,406 kg/mm. Sehingga dapat diketahui bahwa balok beton normal memiliki kekakuan lebih besar dibanding balok beton pumice dan balok beton pumice cat, serta nilai kekakuan balok beton pumice lebih besar dibandingkan dengan balok beton pumice cat. Namun perbandingan selisih antara kekakuan balok beton normal dengan kekakuan balok beton pumice tidak begitu besar, yakni sebesar 14,221%, dan perbandingan selisih antara kekakuan balok beton normal dengan kekakuan balok beton pumice cat tidak begitu besar, yakni sebesar 19,238%, dan perbandingan selisih antara kekakuan balok beton pumice dengan kekakuan balok beton pumice cat tidak begitu besar, yakni sebesar 4,393%.

Nilai kekakuan balok beton dari hasil perhitungan teoritis memiliki nilai yang lebih besar daripada dari hasil pengujian eksperimen. Berdasarkan hasil perhitungan teoritis nilai kekakuan balok beton normal sebesar 5383,5677 kg/mm dan teoritis nilai kekakuan balok beton dengan pumice sebesar 5031,1619 kg/mm, serta teoritis nilai kekakuan balok beton dengan pumice cat sebesar 4813,3557 kg/mm. Sedangkan berdasarkan hasil uji eksperimen nilai kekakuan balok beton normal sebesar 213,9202 kg/mm dan teoritis nilai kekakuan balok beton dengan pumice sebesar 187,287 kg/mm, serta teoritis nilai kekakuan balok beton dengan pumice cat sebesar 179,406 kg/mm. Hal ini disebabkan pada perhitungan struktur balok ini dianggap balok bersifat monolit, sedangkan pada pelaksanaan eksperimen perencanaan struktur balok ini tidak dapat dipastikan bersifat monolit, dan pada saat pelaksanaan eksperimen mutu beton tidak sesuai dengan mutu yang direncanakan serta pada saat eksperimen pelapisan cat pada batu pumice dapat mempengaruhi ikatan antara mortar dengan agregat tidak seperti ikatan yang terjadi pada balok beton dengan batu pumice tanpa pelapisan cat. Selain itu pada saat perawatan beton

benda uji mendapat tekanan dari gaya luar sehingga terjadi penurunan mutu beton yang seharusnya pada saat waktu perawatan beton seharusnya terbebas dari gaya luar agar beton mencapai mutu yang diharapkan.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan terhadap penelitian tentang pengaruh penambahan cat pada agregat kasar batu pumice terhadap kekakuan balok beton bertulang dua tumpuan, dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

- Balok beton batu pumice dengan penambahan cat memiliki berat volume yang lebih kecil dibandingkan dengan balok beton batu pumice tanpa penambahan cat.
- Balok beton batu pumice dengan penambahan cat dapat menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan balok beton batu pumice tanpa penambahan cat.
- Dari pengujian eksperimen dan perhitungan secara teoritis balok beton batu pumice dengan penambahan cat menghasilkan lendutan yang lebih besar dibandingkan dengan balok beton tanpa penambahan cat namun perbedaan antara keduanya tidak signifikan.
- Dari pengujian eksperimen dan perhitungan secara teoritis balok beton batu pumice dengan penambahan cat menghasilkan kekakuan yang lebih kecil dibandingkan dengan balok beton tanpa penambahan cat namun perbedaan antara keduanya tidak signifikan.
- Pada perhitungan secara teoritis maupun percobaan eksperimen terdapat perbedaan. Selisih asumsi teoritis perlu di kaji ulang.

## Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian yang sudah dilakukan maka peneliti dapat memberi saran sebagai berikut:

- a. Penggunaan cat sebagai pelapis pada agregat kasar batu pumice perlu dilakukan kajian ulang. Hal tersebut dikarenakan hasil yang diperoleh untuk lendutan tidak lebih besar dibandingkan dengan balok beton pumice tanpa penambahan cat.
- b. Hasil kekakuan yang lebih besar oleh balok beton dengan penambahan cat pada batu pumice perlu di kaji lebih mendalam, hal ini berkaitan dengan fungsi
- c. penambahan cat pada batu pumice sebagai pengganti agregat kasar pada balok beton.
- d. Balam pengamatan dapat digunakan 3 LVDT yaitu pada tengah bentang, sisi kanan, sisi kiri bentang. Hal ini dimaksudkan untuk memberikan hasil pengamatan lendutan yang mendekati nilai lendutan pada perhitungan teoritis.

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI *Manual of Concrete Practice*, part 1. 1993:213R-87
- Badan Standarisasi Nasional. 1996, *Metode Pengujian Kuat Lentur Beton dengan Balok Uji Sederhana yang Debebani Terpusat Langsung (SNI 03-4154-1996)*, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Spesifikasi agregat ringan untuk beton ringan struktural (SNI 03-24612002)*. Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional. 2008, *Cara Uji Berat Isi Beton Ringan Struktural (SNI 3402:2008)*, Jakarta.
- Bideci, Alper ., Haydar Gultekin, Ali., Yildirim, Hasan., Oymael, Sabit., Salli Bideci, Ozlem, Polymer coated pumice and their properties, Science Direct, 2014
- Departemen Pekerjaan Umum. 2002, *Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan (SK SNI-T-03-3449-2002)*, Jakarta.
- Dipohusodo, Istimawan, *Struktur Beton Bertulang*, Badan LITBANG PU, 1993.
- Goeffrey N., Mang'uriu, Mutku R.N., Oyawa W.O., Aboudha S.O. 2012. Properties of lightweight Aggregate. *Jurnal Civil and Environmental Research*. Vol 2: No. 10.
- Grasser, Klaus, Gernot Minke. 1990. *Building With Pumice*, Penerbit Langericher Handelsdruckerei, Lengerich.
- Green, S., Nicholas B., Len M. *Pumice Aggregates for Structural Lightweight And Internally Cured Concretes*.
- Muhammad, Ujianto, LENDUTAN DAN KEKAKUAN BALOK BETON BERTULANG DENGAN LUBANG SEGI EMPAT DI BADAN, Jurnal eco REKAYASA, Teknik Sipil UMS, 2006.
- Mulyono, Tri. 2004, *Teknologi Beton*, First Edition. Yogyakarta:Andi
- Murdock, L.J, K.M Brook dan Stephanus Hendarko. 1999, *Bahan dan Praktek Beton*, Edisi Keempat. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Nawy, E.G., *Prestressed Concrete-A Fundamental Approach*, Prentice Hall International, 1995
- Nurlina, Siti. 2011, *Teknologi Bahan I*. Malang: Bargie Media
- Nurlina, Siti, *Struktur Beton*, Bargie Media, 2008.
- Pusat Penelitian & Pengembangan Teknologi Mineral Dan Batubara, 2005
- SNI 03-2847-2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*.